

# فشارسنج

## (قسمت اول)

bnaseripoor@yahoo.com

بهرام ناصری پور



فشارسنج برای اندازه‌گیری فشار به کار می‌رود ولی می‌تواند برای اندازه‌گیری ارتفاع از سطح زمین<sup>۴</sup>، اندازه‌گیری جریان سیال<sup>۵</sup>، اندازه‌گیری ارتفاع و یا عمق مخزن<sup>۶</sup> و آزمایش نشتی نیز به کار رود. اندازه‌گیری، پایش و کنترل فشار، ارتفاع، عمق مخزن، جریان سیال و نشتی از مهم‌ترین کاربردهای فشارسنج در نیروگاه، پالایشگاه، پتروشیمی، خودرو، هواپیما، هلیکوپتر، کشتی، قطار، زیردریایی، فضاپیما، ماهواره، بالن، هواشناسی، هوافضا، پزشکی، زیست‌شناسی، زمین‌شناسی، خانه‌های هوشمند، لپ‌تاپ، تبلت، موبایل، ساعت و ... می‌باشد. اندازه‌گیری فشار همیشه نسبت به یک فشار مرجع انجام می‌شود. زمانی که سنسور فشار، فشار را نسبت به خلاء مطلق می‌سنجد، فشار حاصل فشار مطلق<sup>۷</sup> نامیده می‌شود که آن را به صورت bara یا psia نشان می‌دهند.



زمانی که سنسور فشار، فشار را نسبت به فشار اتمسفر می‌سنجد، فشار حاصل فشار نسبی<sup>۸</sup> نامیده می‌شود که آن را به صورت barg یا psig نشان می‌دهند.



فشارسنج، فشار سیال<sup>۱</sup> (مایع یا گاز) را به سیگنال الکتریکی متناسب با آن تبدیل می‌کند. فشار<sup>۲</sup> بر اثر اعمال نیرو بر سطح و فشرده شدن سیال ایجاد می‌شود که می‌تواند ثابت (فشار استاتیک) و یا متغیر (فشار دینامیک) و یا گذرا<sup>۳</sup> باشد.

فشار بر حسب پاسکال اندازه‌گیری می‌شود که برابر نیروی یک نیوتون بر سطح یک مترمربع می‌باشد.

$$1Pa = \frac{1N}{1m^2} = \frac{1kg}{1m.s^2}$$

فشار بر حسب واحدهای زیر اندازه‌گیری می‌شود.

Pressure Units						
	pascal (Pa)	bar (bar)	technical atmosphere (at)	atmosphere (atm)	torr (Torr)	pound-force per square inch (psi)
1 Pa	$\equiv 1 N/m^2$	$10^{-5}$	$1.0197 \times 10^{-5}$	$9.8692 \times 10^{-6}$	$7.5006 \times 10^{-3}$	$145.04 \times 10^{-6}$
1 bar	100,000	$\equiv 10^6 \text{ dyn/cm}^2$	1.0197	0.98692	750.06	14.5037744
1 at	98,066.5	0.980665	$\equiv 1 \text{ kgf/cm}^2$	0.96784	735.56	14.223
1 atm	101,325	1.01325	1.0332	$\equiv 1 \text{ atm}$	760	14.696
1 torr	133.322	$1.3332 \times 10^{-3}$	$1.3595 \times 10^{-3}$	$1.3158 \times 10^{-3}$	$\equiv 1 \text{ Torr}; \approx 1 \text{ mmHg}$	$19.337 \times 10^{-3}$
1 psi	6,894.76	$68.948 \times 10^{-3}$	$70.307 \times 10^{-3}$	$68.046 \times 10^{-3}$	51.715	$\equiv 1 \text{ lbf/in}^2$

- 4 Altitude
- 5 Flow
- 6 Level
- 7 Absolute Pressure
- 8 Gauge Pressure

- 1 Fluid
- 2 Pressure
- 3 Transient

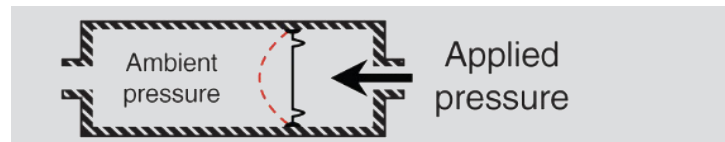
معمولاً برای تبدیل فشار به جابجایی از دیافراگم<sup>۱۸</sup> یا غشاهای<sup>۱۹</sup> ارتجاعی از جنس فولاد ضد زنگ، برنج و ... استفاده می‌شود ولی از پیستون<sup>۲۰</sup>، آکاردئون<sup>۲۱</sup>، لوله بوردون<sup>۲۲</sup> و سایر المان‌های مکانیکی که در اثر فشار تغییر مکان ایجاد می‌کنند نیز استفاده می‌شود.

در این نوشتار جهت سادگی متن همه جا از عبارت دیافراگم به عنوان مبدا فشار به جابجایی استفاده می‌شود ولی در نظر داشته باشید که هریک از مبداهای فوق می‌توانند به روش مطلق، نسبی، مهر شده و یا تفاضلی نقش مبدا را داشته باشند.

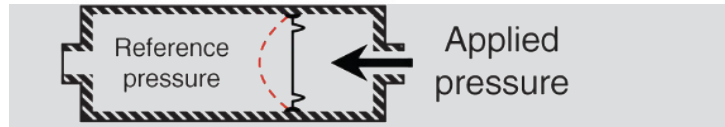
در بعضی موارد از تغییر چگالی و اندازه‌گیری فرکانس رزونانس، دما، یونیزاسیون<sup>۲۳</sup> و ... برای اندازه‌گیری فشار استفاده می‌شود.

فشار می‌تواند به روش‌های مختلفی اندازه‌گیری شود که مهمترین روش‌های آن عبارتند از:

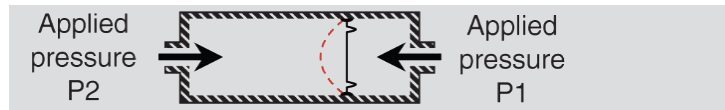
پیزوالکتریک<sup>۲۴</sup>، پیزورزیستو<sup>۲۵</sup>، کرنشسنج<sup>۲۶</sup> (استرین گیج)، خازنی، پتانسیومتر<sup>۲۷</sup>، نوری، نیمه‌هادی (MEMS<sup>۲۷</sup>)، مغناطیسی، اثر هال<sup>۲۸</sup>، حرارتی، رزونانسی، یونیزاسیون و....



اگر سنسور فشارنسیبی توسط سازنده نسبت به فشار سطح دریا کالیبره شده باشد، فشار حاصل فشار مهر شده<sup>۹</sup> نامیده می‌شود که آن را به صورت barsg یا psisg نشان می‌دهند.



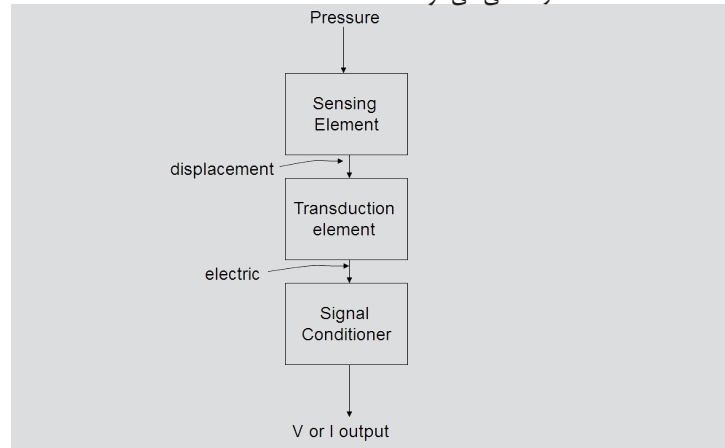
اگر سنسور فشار، اختلاف بین دو فشار را نشان دهد، فشار حاصل فشار تفاضلی<sup>۱۰</sup> نامیده می‌شود که آن را به صورت bard یا psid نشان می‌دهند.

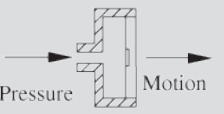
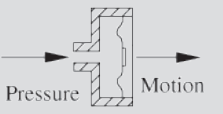
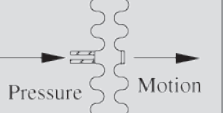

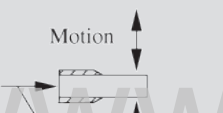

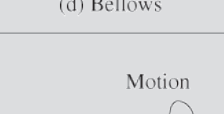
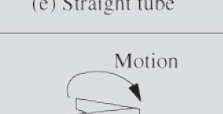
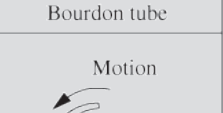


رابطه‌ی بین فشار مطلق و فشار نسبی به صورت زیر است:  
فشار مطلق = فشار اتمسفر + فشار نسبی  
برخی از سازندگان محصولات فشارسنج خود را جهت راحتی انتخاب در گروه‌هایی مانند گروه‌های زیر بر حسب کاربرد فشارسنج دسته‌بندی می‌کنند:

فشار سنج‌های مصرف عمومی<sup>۱۱</sup>، شوک<sup>۱۲</sup>، فرکانس بالا، فرکانس پایین، مینیاتوری، مرجع<sup>۱۳</sup>، میدانی<sup>۱۴</sup>، بارومتري<sup>۱۵</sup> و ... این فشارسنج‌ها می‌توانند خروجی‌های ولتاژ، جریان، بارالکتريکی<sup>۱۶</sup> (شارژ) و ... داشته باشند.

در بیشتر موارد اندازه‌گیری فشار براساس اندازه‌گیری جابجایی می‌باشد، به این صورت که فشار باعث ایجاد جابجایی در حسگر<sup>۱۷</sup> می‌شود و سپس این جابجایی تبدیل به سیگنال الکتریکی متناسب با فشار اعمالی می‌شود.



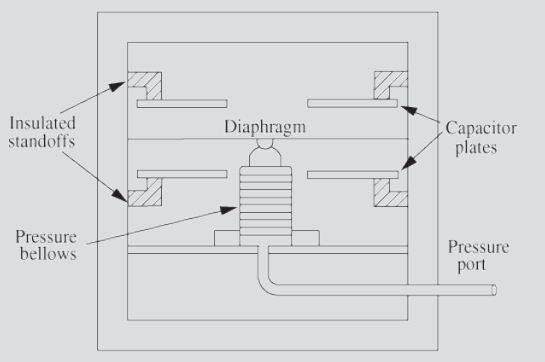
 Flat diaphragm	 (b) Corrugated diaphragm	 (c) Capsule
 (d) Bellows	 (e) Straight tube	 (f) C-shaped Bourdon tube
 (g) Twisted Bourdon tube	 (h) Helical Bourdon tube	 (i) Spiral Bourdon tube

- 18 Diaphragm
- 19 Membrane
- 20 Piston
- 21 Bellow
- 22 Bourdon
- 23 Ionization
- 24 Piezo Electric
- 25 Piezo Resistive
- 26 Strain Gauge
- 27 Micro Electro Mechanical Systems
- 28 Hall Effect

- 9 Sealed Gauge Pressure
- 10 Differential Pressure
- 11 General Purpose
- 12 Shock
- 13 Reference Sensor for calibration applications
- 14 Field
- 15 Barometric
- 16 Charge output
- 17 Sensor

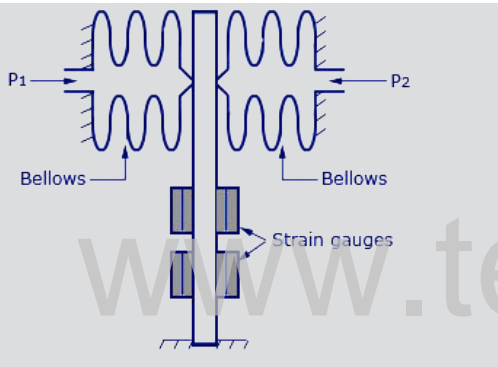
### فشارسنج خازنی

در این نوع فشارسنج با تغییر فشار، صفحه الکتروود خازن جابجا می‌شود و ظرفیت خازنی فشارسنج تغییر می‌کند و به وسیله یک مدار الکتریکی خروجی متناسب با فشار ارائه می‌شود و می‌تواند فشار ثابت تا حدود ۱ KHz را نمایش دهد.



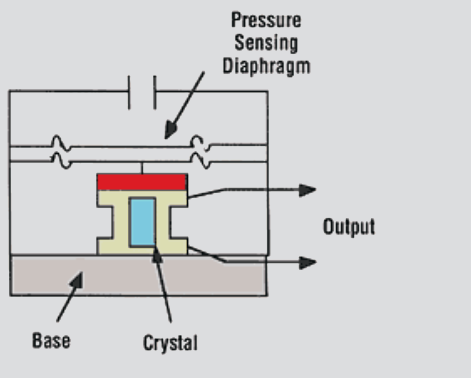
### فشار سنج استرین گیجی

در این فشارسنج، اندازه‌گیری فشار با تغییر شکل یک دیافراگم بوسیله یک استرین گیج سیلیکونی یا فویلی و بصورت پل وتستون<sup>۳۱</sup> انجام می‌شود و می‌تواند فشار ثابت تا چند صد هرتز را اندازه‌گیری کند.



### فشارسنج پیزو الکتریک

در این فشارسنج دیافراگم به یک کریستال پیزو الکتریک متصل می‌باشد. با تغییر فشار نیروی وارده از دیافراگم به کریستال پیزو الکتریک تغییر می‌کند و در اثر تنش ناشی از این نیرو، کریستال بار الکتریکی تولید می‌کند که شارژ نامیده می‌شود و برای تبدیل آن به ولتاژ یا جریان از شارژ آمپلی فایر استفاده می‌شود.



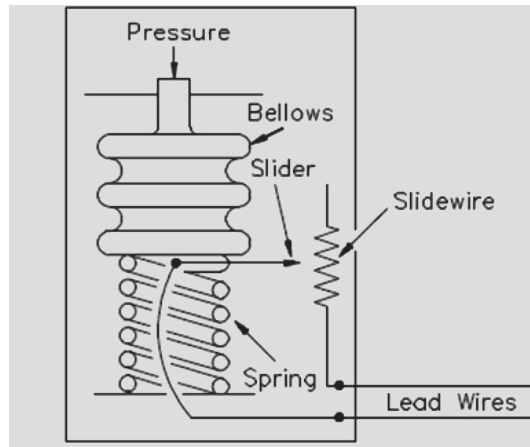
این نوع فشارسنج دارای عرض باند مناسب و نویز کم و حساسیت مطلوب می‌باشد و با توجه به تولید شارژ توسط کریستال پیزو الکتریک، نیاز به منبع تغذیه ندارد. قطعات متحرک و بالطبع سایشی نیز ندارد تا به

31 Wheatstone Bridge

در ادامه به شرح بعضی از متداول‌ترین روش‌های فوق پرداخته می‌شود:

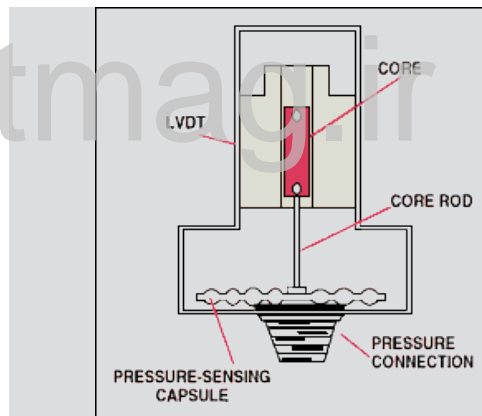
### فشارسنج پتانسیومتری

ساده‌ترین نوع فشارسنج می‌باشد که در آن سر متغیر پتانسیومتر به دیافراگم متصل می‌باشد و با تغییر فشار و جابجایی دیافراگم، مقدار مقاومت تغییر می‌کند و فشاراندازه‌گیری می‌شود. این روش برای اندازه‌گیری فشارهای ثابت و یا فرکانس پائین بکار می‌رود.



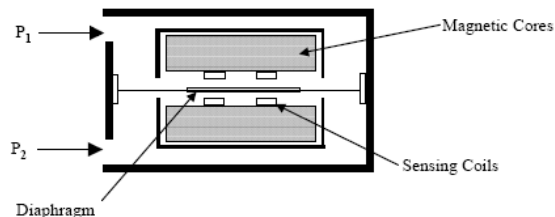
### فشارسنج LVDT

این نوع فشارسنج مانند فشار سنج پتانسیومتری می‌باشد ولی به جای پتانسیومتر از LVDT برای اندازه‌گیری جابجایی استفاده شده است. در این نوع فشار سنج، هسته LVDT به دیافراگم متصل می‌باشد. این روش نیز برای اندازه‌گیری فشار ثابت و فرکانس پائین کاربرد دارد.



### فشارسنج مغناطیسی متغیر

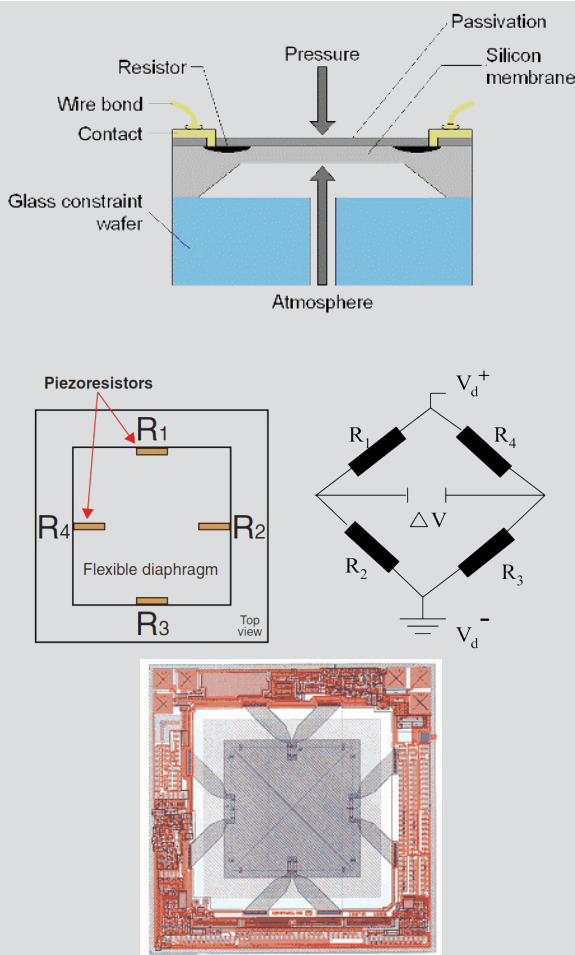
مانند فشارسنج LVDT می‌باشد. در این فشارسنج دیافراگم نقش هسته یک سیم پیچ مغناطیسی را دارد که با تغییر فشار ورودی، هسته جابجا می‌شود و مقدار اندوکتانس سیم پیچ تغییر می‌کند و با کمک سیگنال AC و تغییر اندوکتانس در سیم پیچ، فشار اندازه‌گیری می‌شود.



در روشهای دیگر می‌توان فشار را به کمک اندازه‌گیری جابجایی دیافراگم به وسیله اثر هال و یا قانون جریان ادی<sup>۳۰</sup> اندازه‌گیری نمود.

29 linear variable differential transformer

30 Eddy Current



مرور مستهلک شود. این فشارسنج در فشار ثابت خروجی ندارد. فشارسنج‌های مذکور می‌توانند در بازه چند هرتز تا ۳۰ KHz با حساسیت خروجی، وزن، اندازه و شکل مناسب برای کاربرد مورد نظر ساخته شوند.

فشارسنج‌های پیزوالکتریک می‌توانند با کریستال‌های طبیعی یا سرامیک ساخته شوند. کریستال‌های طبیعی کوآرتز دارای حساسیت خروجی کم و قیمت بالاتر می‌باشند و می‌توانند در دماهای بالا نیز کار کنند و با گذشت زمان یا افزایش درجه حرارت، دچار تنزل درجه<sup>۳۲</sup> نمی‌شوند و پایداری و دقت و تکرارپذیری بیشتری دارند. کریستال‌های سرامیک ساخت بشر می‌باشند و می‌توانند حساسیت خروجی بیشتر و قیمت کمتر داشته باشند ولی نمی‌توانند در دماهای بالا کار کنند و با گذشت زمان یا افزایش درجه حرارت نیز دچار تنزل درجه می‌شوند.

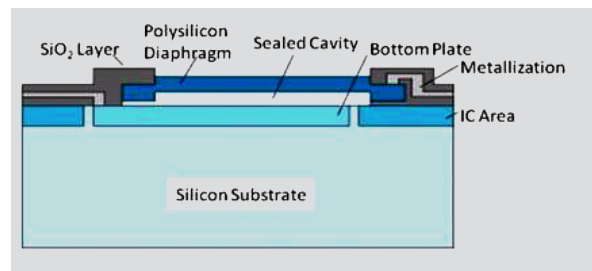
در بعضی مدلها از یک مدار مجتمع الکتریکی در داخل فشارسنج استفاده می‌شود که خروجی شارژ را به سیگنال ولتاژ تبدیل می‌کند. این نوع فشارسنج‌ها با منبع جریان ثابت تغذیه می‌شوند و یک خروجی ولتاژ که سوار بر یک ولتاژ DC می‌باشد؛ ارائه می‌کنند و کلاً دارای دو سیم بوده و خروجی آنها حساس به طول کابل نمی‌باشد ولی این نوع در کاربردهای دمای بالا و یا محیط‌های دارای تشعشعات بالا قابل استفاده نمی‌باشند.

بعضی سازندگان این نوع سنسورهای دارای مدار داخلی را IEP<sup>۳۳</sup> و بعضی سازندگان ICP<sup>۳۴</sup> نامگذاری نموده‌اند.

### فشارسنج MEMS

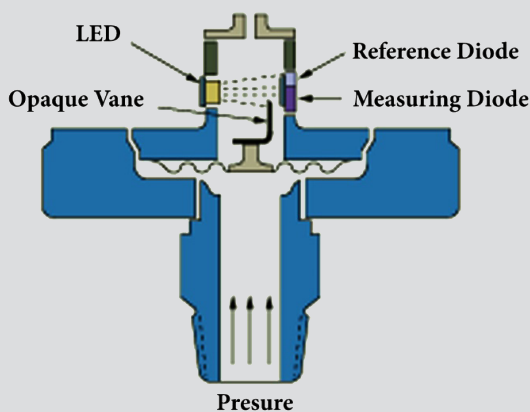
با پیشرفت صنایع نیمه هادی و آمدن تکنولوژی MEMS و نیاز گسترده‌ی صنایع خودروسازی و صنایع لوازم خانگی مصرفی به فشارسنج‌های ارزان قیمت، روش‌های متنوعی برای طراحی و تولید فشارسنج‌های میکرو ماشین شده‌ی نیمه هادی با سایز کوچک، وزن کم، مدار تقویت ساده و از همه مهم‌تر قیمت پایین ابداع شدند و باعث انقلابی در صنایع مصرف کننده فشارسنج شدند.

در سنسورهای فشار خازنی MEMS، دیافراگم سیلیکونی میکرو ماشین شده نقش الکتروود متحرک را بازی می‌کند و با تغییر فشار و تغییر فاصله الکتروودها ظرفیت خازنی تغییر می‌کند و فشار اندازه‌گیری می‌شود.



در سنسورهای فشار پیزورزیستو MEMS، به کمک تغییر مقدار مقاومت سیلیکونی در یک پل وتستون فشار اندازه‌گیری می‌شود. دیافراگم از جنس سیلیکون می‌باشد و مقاومت‌های پیزویی بر روی این دیافراگم نشانده شده‌اند. فشار باعث تغییر شکل دیافراگم و تغییر مقدار مقاومت‌های پیزویی قرار گرفته بر روی آن می‌شود و مقدار فشار اندازه‌گیری می‌شود.

**فشارسنج نوری**  
در این فشارسنج با تغییر فشار و جابجایی صفحه متحرک در برابر دیود نورانی فرستنده، میزان نور دریافتی دیود نورانی گیرنده اندازه‌گیر نسبت به دیود نورانی گیرنده مرجع تغییر می‌کند و مقدار فشار، متناسب با اختلاف میزان نور دریافتی دیودهای نورانی گیرنده اندازه‌گیر و مرجع اندازه‌گیری می‌شود.

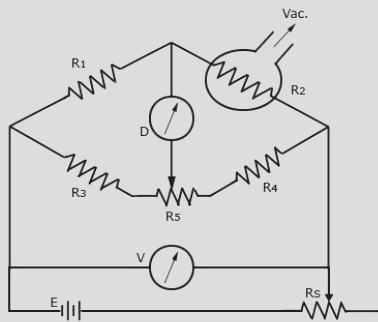


در روش‌های دیگر از فیبر نوری استفاده می‌شود. در روش اندازه‌گیری شدت نور<sup>۳۵</sup>، با یک فیبر نوری، نور بر روی دیافراگم تابیده می‌شود و فیبر نوری دوم میزان نور برگشتی از روی دیافراگم را اندازه‌گیری می‌کند که متناسب با میزان جابجایی دیافراگم و در نتیجه تابع فشار وارده می‌باشد.

32 Decay

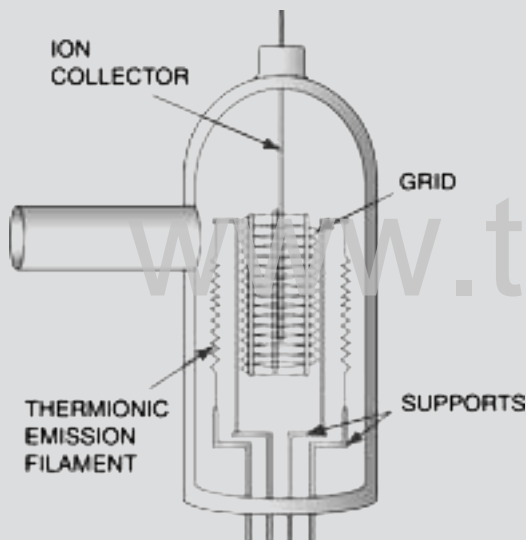
33 Integrated Electronics Piezo Electric

34 Integrated Circuit Piezoelectric



### فشارسنج یونیزاسیونی

این نوع فشارسنج برای اندازه‌گیری فشارهای بسیار کم (خلاء زیاد) به کار می‌رود. وقتی گاز به وسیله الکترون بمباران می‌شود، در فشار کم، یون کمتری تولید می‌شود. در روش کاتد گرم یک فیلامنت گرم، اشعه الکترونی تولید می‌کند. این الکترون‌ها باعث یونیزه شدن مولکول‌های گاز می‌شوند و این مولکول‌های یونیزه در الکتروود منفی جمع می‌شوند و بر اساس تعداد این یون‌ها جریان کمی تولید می‌شود که تابع فشار گاز می‌باشد. روش دیگری به نام روش کاتد سرد وجود دارد که در آن اشعه الکترونی بوسیله‌ی اعمال ولتاژ بسیار زیادی در حد چند کیلو ولت بین آند و کاتد تولید می‌شود.



راه‌های دیگر نیز برای اندازه‌گیری فشار مانند استفاده از سرعت صوت، جرم، ضریب شکست و ... وجود دارد.

لازم به یادآوری است قسمت دوم این مقاله در شماره آتی درج خواهد شد.

در روش فابری پروت<sup>36</sup> از دو آینه‌ی موازی استفاده می‌شود که آینه دوم انعطاف‌پذیر می‌باشد و بر روی دیافراگم نصب شده است و با اندازه‌گیری برگشت نور از روی این دو آینه، فاصله دو آینه و در نتیجه فشار اندازه‌گیری می‌شود.

در روش توری‌های براگ فیبری<sup>37</sup> با تغییر در ضریب شکست مغزی فیبر نوری، یک فیلتر نوری ایجاد می‌شود که طول موج خاصی از نور را بازتاب می‌کند و بقیه را عبور می‌دهد. مشخصه این فیلتر نوری با تغییر فشار تغییر می‌کند و می‌توان با محاسبه اثر این تغییرات بر روی امواج بازتاب شده، فشار را اندازه‌گیری نمود.

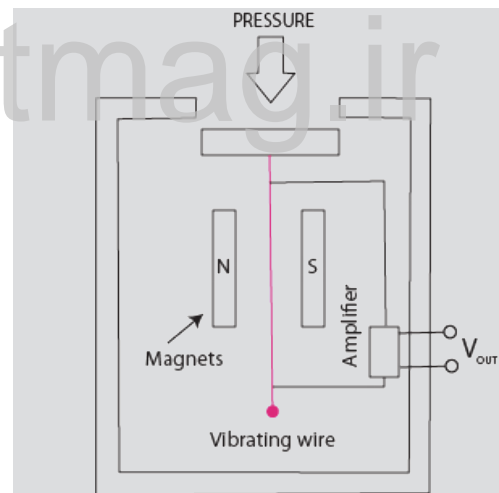
در تکنولوژی MEMS نیز به کمک یک دیود نورانی تابنده و چند دیود نورانی گیرنده می‌توان فشار وارده به دیافراگم را براساس میزان نور اندازه‌گیری شده در دیودهای نورانی گیرنده اندازه‌گیری کرد.

در فشارسنج‌های لیزری، جابجایی دیافراگم به کمک لیزر اندازه‌گیری می‌شود و فشار از روی این جابجایی اندازه‌گیری می‌شود.

مهمترین مزیت روش‌های نوری اندازه‌گیری فشار، رزولوشن بالا و عدم حساسیت به دما می‌باشد. در ضمن در محیط‌های انفجاری و یا محیط‌های در معرض تشعشعات الکترومغناطیسی گزینه مناسبی می‌باشند.

### فشارسنج رزونانسی

در این روش یک سیم در یک میدان مغناطیسی تحت کشش نصب شده است و به کمک مدار نوسان ساز در فرکانس رزونانس خود ارتعاش می‌کند. یک سر این سیم به دیافراگم متصل می‌باشد و سر دیگر آن ثابت می‌باشد. با تغییر فشار، نیروی کشش وارد بر سیم و در نتیجه فرکانس رزونانس آن نیز تغییر می‌کند. با اندازه‌گیری فرکانس رزونانس می‌توان فشار وارده را محاسبه نمود.



### فشارسنج حرارتی

با تغییر فشار یک گاز، چگالی و ضریب انتقال حرارت آن تغییر می‌کند و می‌توان با اندازه‌گیری ضریب انتقال حرارت، فشار گاز را اندازه‌گیری نمود. مهم‌ترین کاربرد این روش در اندازه‌گیری فشار خلاء می‌باشد که به روش پیرانی<sup>38</sup> معروف می‌باشد.

در این روش یک مقاومت گرم شده که فیلامنت<sup>39</sup> نیز نامیده می‌شود در داخل گاز قرار می‌گیرد و حرارت خود را از دست می‌دهد و در نتیجه مقدار مقاومت سیم نیز با دمای آن تغییر می‌کند که با اندازه‌گیری این تغییر مقاومت، فشار گاز محاسبه می‌شود.

36 Fabry-Pérot

37 Fiber Bragg Gratings

38 Pirani

39 Filament